

Karbonatisierungswiderstand – eine neue Anforderung an Betone

Seit dem 1.1.2013 sind die neuen Nationalen Elemente der SN EN 206-1/NE:2013 gültig (Übergangsfrist bis zum 1.1.2014). Bei den Betonsorten B, C, D und E wird neu eine Anforderung an den Karbonatisierungswiderstand gestellt. Details zu den Betonsorten sind im TFB-Bulletin 1/2013 zu finden.

1 Warum eine (neue) Prüfung?

In den 1950er und 1960er Jahren war die Korrosion infolge karbonatisiertem Beton (Abb. 1) ein stark beachtetes Thema in der Praxis und in der Forschung. Die damals gewonnenen Erkenntnisse führten zur Forderung nach dichteren Betonen (tiefere w/z-Werte), nach der Überwachung des Frischbetons und nach erhöhten Bewehrungsüberdeckungen. So sind seit 1956 die Vorgaben in den Normen SIA 162 und 262 an die Überdeckung von 10 bis 20mm auf heute 35 bis 55mm erhöht worden [1].



Abbildung 1: Abplatzungen über korrodierenden Bewehrungsstäben an einer Fassade infolge Karbonatisierung des Betons.

In den letzten 15 Jahren hat sich der Zement- und Betonmarkt erheblich verändert. Es wurden neue Zemente mit einem tieferen Klinkergehalt auf den Markt gebracht. Zunehmend kommt auch Recyclingbeton zum Einsatz. Mit diesen Veränderungen ist es schwierig geworden, den Karbonatisierungswiderstand von Betonen zu beurteilen. Vergleiche mit Betonen mit Portlandzement (CEM I) sind nicht ohne weiteres möglich.

Zwischen dem Karbonatisierungskoeffizienten und physikalischen Parametern (Druckfestigkeit, Gesamtporosität, Wasserleitfähigkeit und Gaspermeabilität) oder chemischen Grössen (wasser- und säurelösliches Na_2O -Äquivalent und $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Gehalt) sind keine oder nur sehr schwache Zusammenhänge vorhanden. Keiner der Parameter eignet sich für die Beurteilung des Karbonatisierungswiderstandes von Betonen mit verschiedenen Zementarten und/oder Zusatzstoffen. Der Karbonatisierungswiderstand eines Betons kann nur mit einer Prüfung ermittelt werden. Diese ist in der revidierten Norm SIA 262/1, Anhang I, beschrieben (gültig seit dem 1.8.2013) [2]. Erläuterungen dazu sind in [3] zu finden.

2 Grundlagen

Die Karbonatisierung des Betons ist eine Folge von chemischen Reaktionen der alkalischen Komponenten des Zementsteins mit dem Kohlendioxid (CO_2) der Luft. Die Reaktionen laufen nur bei Anwesenheit von genügend Wasser ab. Dabei sinkt der pH-Wert des Betonporenwassers von ursprünglich >12.5 auf Werte zwischen 6 bis 9 (abhängig vom CO_2 -Gehalt).

Dadurch geht der Korrosionsschutz der Bewehrung im Beton verloren.

Der zeitliche Verlauf der Karbonatisierung kann mit einem einfachen Zeitgesetz beschrieben werden. Es beruht auf dem 1. Fick'schen Gesetz (diffusionsgesteuerter Prozess). Das \sqrt{t} -Gesetz (Zeitexponent $b = 0.50$) ist nur dann gültig, wenn die relative Luftfeuchtigkeit und die Temperatur konstant sind. Dies ist bei Laborbedingungen und in der Regel auch bei Innenlagerungen gegeben. Bei der unbewitterten Aussenlagerung schwanken Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit in einem weiten Rahmen.

$$d_k = a + \sqrt{[\text{CO}_2]} K t^b$$

- d_k Karbonatisierungstiefe, mm
- a Konstante (Nullwert), mm
- K Karbonatisierungskoeffizient, mm/Tag^b, mm/Jahr^b
- t Zeit, Tage, Jahre
- b Zeitexponent.

- a) konstante Bedingungen (Labor-, Innenlagerung): $b = 0.5$
- b) unbewitterte Aussenlagerung (XC3): $b < 0.5$
- c) bewitterte Aussenlagerung (XC4): $b \rightarrow 0$
- d) sehr trocken (Wassermangel): $b \rightarrow 0$.

Die Karbonatisierungsgeschwindigkeit von Beton ist von vielen Faktoren abhängig. Vorab wichtig sind Art und Gehalt von Zement und Zusatzstoffen (\rightarrow pH-Wert des Porenwassers, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Gehalt), der w/z-Wert (\rightarrow Porosität) und die Betonfeuchtigkeit. Erfahrungsgemäss ist die Karbonatisierungsgeschwindigkeit im Feuchtigkeitsbereich zwischen etwa 50 und 70% am grössten. Vollständig durchnässter Beton karbonatisiert praktisch nicht, da die Diffusionsgeschwindigkeit von CO_2 im (Poren)Wasser um etwa 3 bis 4 Grössenordnungen langsamer als im trockenen oder wenig feuchten Beton ist. Sehr trockener Beton karbonatisiert nicht, da das für die Reaktion nötige Wasser fehlt. Die Abhängigkeit der Karbonatisierungs- und Korrosionsgeschwindigkeit von der relativen Luftfeuchtigkeit ist in Abb. 2 schematisch dargestellt. In diesem Bild sind auch die zugehörigen Expositionsklassen eingetragen.

Besondere Gefährdungspunkte für die karbonatisierungsbedingte Bewehrungskorrosion sind Ecken, Kanten, Wasserläufe, Abtropfbereiche von Bauteilen oder auch Bauteile mit geringen Abmessungen und stark bewehrte Bauteile (z.B. Stützen).

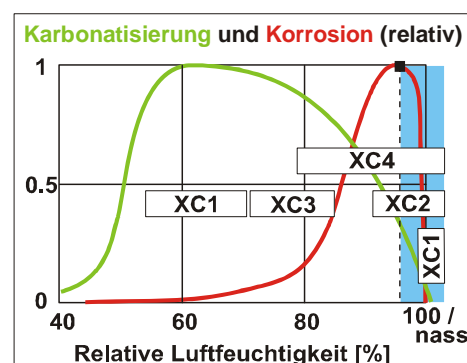


Abbildung 2: Abhängigkeit der Karbonatisierungs- und Korrosionsgeschwindigkeit von der relativen Luftfeuchtigkeit und Bereich der Expositionsklassen XC1 bis XC4 (schematisch).

3 Prüfung gemäss Norm SIA 262/1, Anhang I

Die neue Prüfung gemäss [2] wird bei einem CO₂-Gehalt der Luft von 4% ausgeführt. Sie wird in erster Linie im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle von Beton an Prismen (120x120x360mm) durchgeführt. Es können auch Bohrkern (Ø ≥ 50mm, Länge ≥ 100mm) aus Bauteilen geprüft werden.

Die Prismen werden 3 Tage nachbehandelt (Schalung und Wasser) und danach unter kontrollierten Bedingungen vorgelegt. Nach der Nullmessung im Alter von 28 Tagen werden sie in der Schnellkarbonatisierungskammer gelagert. Nach 7, 28 und 63 Tagen werden die weiteren Messungen durchgeführt. Für die Messungen werden vom geprüften Prisma je eine ca. 50mm dicke Scheibe abgespalten und die Karbonatisierungstiefe an mehreren Stellen aller Seitenflächen gemäss Norm SN EN 14630:2006 bestimmt (Abb. 3 und 4).

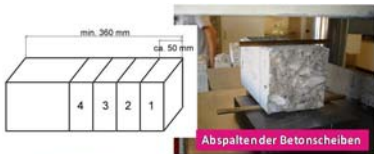


Abbildung 3: Einzelne Schritte bei der Prüfung des Karbonatisierungswiderstandes.

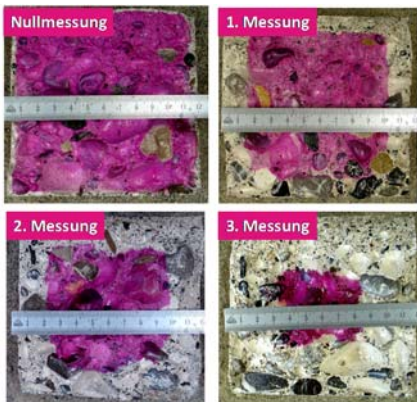


Abbildung 4: Ausmessen der Karbonatisierungstiefe zu verschiedenen Zeitpunkten.

Aus den gemessenen Karbonatisierungstiefen wird mittels linearer Regression (\sqrt{t} -Gesetz) der Karbonatisierungskoeffizient K_S ermittelt und daraus der Karbonatisierungskoeffizient unter natürlichen Bedingungen K_N berechnet (Abb. 5).

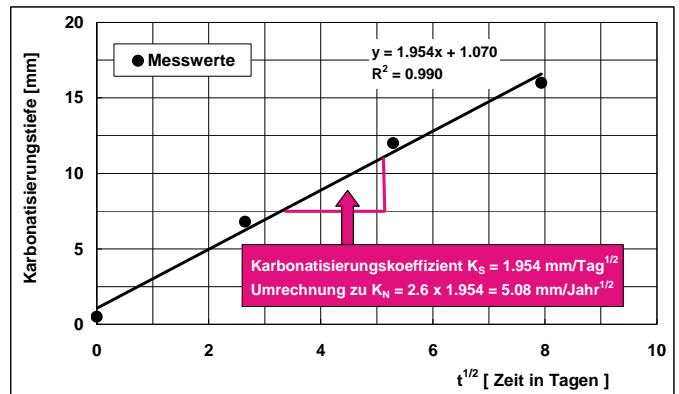


Abbildung 5: Bestimmung der Karbonatisierungskoeffizienten K_S und K_N .

4 Grenzwerte

Für die Beurteilung des Karbonatisierungswiderstandes sind in den nationalen Elementen zur Norm SN EN 206-1/NE:2013 Grenzwerte für die Prüfungen im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle (WPK) an Prismen definiert. Die angegebenen Werte gelten für eine normkonforme Lagerung und für ein Prüfalter von 28 Tagen sowie für die Bewehrungsüberdeckung gemäss Norm SIA 262. Für die Prüfungen an Bohrkernen aus Bauteilen enthält die Norm SIA 262/1:2013 Richtwerte für die Beurteilung.

Nutzungsdauer	Karbonatisierungskoeffizient, mm/ $\sqrt{\text{Jahr}}$	
	WPK (Prismen) [Grenzwerte]	Bohrkerne [Richtwerte]
50 Jahre	XC3 und XC4: $K_N \leq 5.0$	XC3 und XC4: $K_N \leq 5.3$
100 Jahre	XC3: $K_N \leq 4.0$ XC4: $K_N \leq 4.5$	XC3: $K_N \leq 4.3$ XC4: $K_N \leq 4.8$

Referenzen

- [1] Norm SIA 162 (1956, 1968, 1989) und Norm SIA 262 (2003, 2013)
- [2] Norm SIA 262/1, Ausgabe 2013
- [3] F. Hunkeler und L. Lammar, Anforderungen an den Karbonatisierungswiderstand von Betonen. Forschungsauftrag AGB 2008/012 auf Antrag der Arbeitsgruppe Brückenforschung (AGB), Bericht VSS Nr. 649, November 2012 (<http://www.tfb.ch/de/Publikationen.html>).

Dr. Fritz Hunkeler

- 05.02. Der Baustellen-Knigge
- 13.02. Bodenstabilisierung
- 17.-19.02. Betontechnologie für Maschinisten
- 20.02. Haftungsrisiken für Organe und leitende Angestellte
- 20.02. Kompetenz-Zirkel Bauprojektmanagement
- 25.02. Auf der Baustelle überzeugen - verhandeln und gewinnen

ANMELDUNG unter: Weiterbildungszentrum TFB AG, 062 887 72 77, schulung@tfb.ch, <http://www.bauundwissen.ch>

AUSBLICK AUF KÜNFTIGE THEMEN

- Mikroskopieanwendungen
- Wasserdichte Betonkonstruktionen
- Dichtigkeit und Dauerhaftigkeit des Überdeckungsbetons

WEITERBILDUNG BEI UNS IM HAUS



DEZEMBER 2013

- 05.12. Burgdorfer Wasserbautag 2013
- 12.12. Änderungen in den Betonnormen

JANUAR 2014

- 10.01. Betontechnologie-Lehrgang
- 13./14.01. Betontechnologie für Neueinsteiger
- 15.01. Vergaberecht im Baubereich
- 16.01. Instandsetzung von Betonwerken
- 21.01. Naturgefahren begegnen im Hoch- und Tiefbau
- 23./24.01. Führen aber wie?

FEBRUAR 2014

- 04.02. Die revidierte Norm SIA 267